



Uso de indicadores para explicar nuestro clima cambiante a las instancias normativas y a la opinión pública

por Michael Williams¹ y Simon Eggleston²

Pese a la gran complejidad que supone el cambio climático, la comunidad científica debe aceptar el reto de comunicar sus hallazgos a las instancias normativas y a la opinión pública, y además ha de llevarlo a cabo de un modo que

resulte lo bastante sencillo como para que sea comprendido por quienes no son expertos en la materia pero con el rigor suficiente como para no distorsionar la ciencia. El conocimiento del clima suele comunicarse a través de informes técnicos bien redactados pero también es eficaz explicarlo por medio de gráficos, animaciones, presentaciones orales, narraciones cautivadoras, divulgadores de confianza, y libros y películas destinados al público de masas.

¹ Secretaría de la OMM

² Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC)



Un enfoque prometedor para transmitir la realidad del cambio climático consiste en desarrollar indicadores, es decir, números y escalas destinados a realizar el seguimiento del estado o nivel de algún aspecto del clima. La variación de la temperatura media mundial de la atmósfera inferior es uno de los indicadores más utilizados y constituye uno de los objetivos establecidos por el Acuerdo de París de 2015 sobre el cambio climático, que exige mantener un aumento de la temperatura mundial para este siglo muy por debajo de 2 °C por encima de los niveles preindustriales mientras se intenta limitar aún más el aumento de temperatura, hasta 1,5 °C.

El uso de indicadores presenta una serie de ventajas ya que estos están cuantificados, son objetivos, se basan en datos ofrecidos por prácticamente todos los países y demuestran cambios a lo largo del tiempo. Esta es la razón por la que la Agenda 2030, adoptada por las Naciones Unidas en 2015, busca la utilización de indicadores para seguir el progreso de los distintos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluido el ODS número 13 relativo a la lucha contra el cambio climático y sus efectos.

También es probable que las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) incluyan indicadores en el “balance mundial” quinquenal para medir el progreso del Acuerdo de París. Además de los indicadores que dan cuenta del avance en la mitigación, también pueden medir las variaciones en los impactos del cambio climático que deberían ser objetivo de los esfuerzos de adaptación. Las actuales negociaciones acerca de cómo estructurar este proceso y qué información incluir en el balance concluirán antes de que se realice el primer balance en 2023.

Durante el año pasado, la OMM, junto con sus organizaciones asociadas —entre ellas el Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC) y el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC)—, comenzó a desarrollar una lista breve de indicadores “principales” para vigilar los cambios en el sistema climático físico. Los indicadores considerados en este artículo se centran en el seguimiento de tales cambios. Se necesitarán, asimismo, indicadores adicionales para vigilar los riesgos e impactos climáticos con objeto de orientar la adaptación climática, y en ello debería centrarse el trabajo futuro. La OMM seguirá comprometida con esta tarea.

Lista breve ideal

La gran cantidad de indicadores existentes generados por los climatólogos, muchos de ellos basados en las

55 variables esenciales climáticas del SMOC, resultan útiles para muchos fines y audiencias técnicas y científicas específicas. Sin embargo, a menudo usan diferentes fuentes y referencias que no siempre son comparables, y muchos también son bastante complejos. Por consiguiente, no todos ellos son igual de adecuados para ayudar al público no especializado a comprender cómo está cambiando el clima. El problema está en identificar un subconjunto de indicadores fundamentales que capturen las características más importantes del cambio climático de un modo exhaustivo y que puedan ser bien comprendidos por audiencias no científicas.

Para garantizar una comunicación clara y concisa del cambio climático mundial, el número de indicadores debería rondar los cinco y, en todo caso, ser inferior a 10. Esta lista principal de indicadores podría ser de utilidad para las Naciones Unidas, el Acuerdo de París y las instancias normativas nacionales, así como para el público en general. La lista ideal daría cuenta de los principales rasgos del cambio climático, sin simplificar ni complicar en demasía sus características.

Este artículo se basa en las discusiones en curso en el seno de la comunidad de la OMM y no presenta ninguna conclusión final. Como muchas de las instituciones de esta comunidad están involucradas en la generación de indicadores, cualquier propuesta de conjunto de indicadores necesitaría aparecer, en última instancia, en un documento científico revisado por pares que incluya como coautor a las unidades constitutivas de la OMM esenciales.

Creación de un indicador principal

La OMM y sus asociados centran su atención en los indicadores del clima físico, para lo cual cuentan con el mandato y la experiencia que abarca los ciclos de la energía, el agua y el carbono. Por supuesto, también tienen una importancia crítica los indicadores socioeconómicos que miden los efectos del clima en sectores como la salud y la agricultura. El desarrollo de esos indicadores supone un gran reto debido a la diversidad de impactos climáticos y a la falta de datos recopilados sistemáticamente sobre impactos climáticos en los sectores afectados por parte de fuentes autorizadas. Este problema lo abordan mejor otras organizaciones y colectivos de expertos. La OMM reconoce la necesidad de obtener la imagen más amplia posible del cambio climático y, en consecuencia, colabora con estas otras organizaciones para ofrecer la información sobre el tiempo, el agua y el clima que sea relevante para su cometido.

La mayoría de las personas son conscientes de que la temperatura, o más concretamente la temperatura media mundial de la atmósfera que descansa sobre la superficie terrestre, está aumentando, pero esto no es suficiente como indicador del cambio climático. La gente centra su atención en la atmósfera a nivel de la superficie porque es donde vive, y su temperatura, que se ha medido con fiabilidad durante 150 años, da forma a su vida cotidiana. Pero más del 90% del exceso de calor atrapado por las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI) se almacena en el océano, con cantidades mucho menores absorbidas por la atmósfera, la criosfera y la superficie terrestre. Por tanto, la temperatura de la atmósfera no ofrece una visión completa del clima de la Tierra ni de las dimensiones totales del cambio climático, y en el peor de los casos puede contribuir a una falsa sensación de seguridad.

La lista breve de indicadores tiene en cuenta cinco criterios:

- **Relevancia:** cada indicador principal debería ser un indicador claro y comprensible del cambio climático mundial, con una amplia relevancia para un rango de audiencias. Algunos de estos indicadores mundiales pueden tener valor también en los ámbitos nacional y regional.
- **Representatividad:** el paquete de indicadores debería ofrecer una imagen representativa de los cambios en el sistema Tierra relacionados con el cambio climático.
- **Trazabilidad:** cada indicador debería calcularse utilizando un método acordado (y publicado) internacionalmente y datos accesibles y verificables.
- **Puntualidad:** cada indicador debería calcularse de forma regular (al menos una vez al año), con un breve retraso entre el final del período y la publicación de los datos.
- **Adecuación de los datos:** los datos necesarios para el indicador han de ser suficientemente robustos, fiables y válidos.

Un reto fundamental a la hora de generar un conjunto de indicadores principales, que sean mutuamente compatibles y consistentes y que conformen un paquete verdaderamente coherente, es la necesidad de armonizar los períodos y valores de referencia. El Acuerdo de París utiliza la era preindustrial como período de referencia para la temperatura mundial, y de hecho esto ofrece una medida útil del impacto moderno de la humanidad en el

sistema climático. En la actualidad la comunidad científica emplea varias definiciones diferentes para la "era preindustrial".

Se han propuesto varios períodos con respecto a las observaciones de temperatura, como el 1720-1800 (cuando comenzó realmente la industrialización) y el 1850-1900 o el 1880-1910 (basados en la disponibilidad de registros instrumentales). Los datos disponibles ponen de relieve que todos estos períodos ofrecen resultados que difieren en menos de 0,1 °C de uno a otro.

En el caso de los GEI, para los que los núcleos de hielo ofrecen datos fiables mucho antes del comienzo del período instrumental, el año 1750 suele utilizarse como final de la era preindustrial. Para otros indicadores, tales como la precipitación, no se dispone de datos de la era preindustrial. Tan solo el uso de un período de referencia basado en datos posteriores a 1980 permitiría el manejo consistente de conjuntos de datos provenientes de recuperaciones y reanálisis satelitales.

Una mirada cercana a seis candidatos

Teniendo en cuenta los criterios y las limitaciones anteriores se puede determinar rápidamente que algunos indicadores son fáciles de soportar con mediciones fiables y no son demasiado difíciles de comunicar. La temperatura constituye un buen ejemplo. Otros son mucho más difíciles. Incluso algo tan aparentemente básico para el clima como es la precipitación no puede reducirse fácilmente a un solo indicador mundial.



Temperatura media anual mundial en la superficie

Como se señaló anteriormente, el Acuerdo de París se conoce mejor por su énfasis en la necesidad de mantener la temperatura superficial mundial muy por debajo de los 2 °C por encima de los niveles preindustriales, si bien aún se requiere definir con mayor claridad la era preindustrial.

De los tres registros instrumentales de temperatura mundial que datan de esa época, el mantenido por el Centro Hadley/Oficina Meteorológica del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte se remonta a 1850. El mantenido por la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA) en los Estados Unidos de América se remonta hasta 1880 aproximadamente. El Servicio Meteorológico del Japón mantiene un conjunto de datos de temperatura mundial que se remonta a 1891. El Centro europeo de predicción meteorológica a medio plazo (CEPMMP) y la iniciativa Copernicus proporcionan reanálisis de estos conjuntos de datos. La Administración Meteorológica de China mantiene un conjunto de datos de la temperatura terrestre mundial y, con el tiempo, probablemente ofrecerá un conjunto de datos de la temperatura terrestre y marina mundial. Las mediciones anteriores a mediados de la década de 1800 se basan en registros indirectos como anillos de árboles y núcleos de hielo. Una referencia práctica basada en el registro instrumental podría ser, entonces, el período de 30 años 1880-1910.

La temperatura superficial mundial ofrece un indicador relativamente fácil de comprender pero refleja solo una parte de los aumentos de energía del sistema mundial. Sin embargo, puesto que la temperatura en la superficie constituye uno de los objetivos críticos para el Acuerdo de París, parece esencial incluirla en el conjunto de indicadores principales del clima aunque debería complementarse con indicadores de temperatura fundamentales en los niveles regional y nacional.

La comunidad científica reconoce que una medida mejor del aumento en la energía del sistema Tierra puede ser, por ejemplo, el balance de energía en la parte superior de la atmósfera. Sin embargo, recordando que los indicadores deberían resultar fáciles de entender por las instancias normativas y por el público en general, es importante reconocer también la dificultad que entraña la interpretación de este indicador por parte de muchas personas ajenas al ámbito científico.



Contenido calorífico de los océanos

Más del 90% de la energía adicional capturada por el cambio climático producido por el ser humano se almacena en los océanos. El resto calienta la tierra y funde el hielo, con tan solo entre un 1 y un 2% calentando la atmósfera. Así pues, el aumento del calor en los océanos es un buen indicador del calentamiento del sistema Tierra en su conjunto.

Las mediciones mundiales de la red internacional de boyas Argo permiten reconstruir una serie temporal del contenido calorífico en los 2 000 metros (m) superiores del océano desde 1970 en adelante. Los productos reconstruidos por rejillas correspondientes al contenido calorífico del océano están disponibles en la Organización de Investigaciones Científicas e Industriales de la Commonwealth (CSIRO) de Australia, en la NOAA y en otros organismos. Debería explorarse la posibilidad de expresar estos datos como una temperatura promedio.



Concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono

Un indicador secundario podría ser el contenido de calor únicamente en los primeros 700 m, ya que facilitaría la disponibilidad de una serie temporal más larga.

Debido a que el nivel de GEI en la atmósfera influye en la cantidad de energía atrapada en el sistema Tierra, las concentraciones atmosféricas proporcionan un indicador útil del cambio climático. En la actualidad, el programa de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM reúne datos de todo el mundo de las concentraciones de los principales GEI y publica un informe anual con un retardo de diez meses.

Tradicionalmente, la CMNUCC ha utilizado un indicador de concentraciones que combina en una única cesta todos los GEI: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, HCFC, etc. Cada gas se traduce en un equivalente de CO₂ para generar un solo número mediante los potenciales de calentamiento mundial (PCM) con un horizonte temporal

de 100 años. Sin embargo, en la actualidad algunas Partes de la Convención han cuestionado la utilización de los PCM debido a las distintas escalas temporales que presentan los impactos de los diferentes gases: el metano tiene un efecto inmediato grande que disminuye en décadas mientras que el CO₂ tendrá impactos durante siglos. Puesto que hoy en día el dióxido de carbono es el gas invernadero más importante emitido directamente por la actividad humana y representa el objetivo de numerosos esfuerzos de reducción de emisiones, los expertos creen que puede ser más transparente centrarse en las tendencias anuales de las concentraciones atmosféricas del CO₂ como indicador. Como indicadores secundarios podrían incluirse las concentraciones de metano y de óxido nítrico.

Las emisiones de GEI aumentan las concentraciones mientras que los sumideros las reducen al eliminar los gases de la atmósfera y almacenarlos en el océano, la biosfera o la geosfera. Para comprender mejor los cambios que tienen lugar en las concentraciones, en las fuentes y en los sumideros, la OMM trabaja con sus asociados para explorar la forma en que los instrumentos de vigilancia atmosférica pueden medir las concentraciones y los sumideros y fuentes locales de CO₂ a través del Sistema Mundial Integrado de Información sobre los Gases de Efecto Invernadero.



Nivel medio mundial del mar

Como se describió anteriormente, el océano juega un papel vital en la configuración de nuestro clima al almacenar inmensas cantidades de calor y moverlo por todo el planeta. La forma en que el cambio climático influye en el océano tiene también una gran importancia para la humanidad. Entre los impactos climáticos hay que incluir el calentamiento de las aguas y la acidificación, que afectan a las poblaciones de peces y a otra biodiversidad, y el aumento del nivel del mar con sus implicaciones para las ciudades y comunidades costeras.

La organización CSIRO, el Grupo de investigación sobre el nivel del mar de la Universidad de Colorado y otros organismos evalúan de forma rutinaria el aumento del nivel del mar. Los análisis anuales del nivel del mar pueden demorarse unos meses antes de su publicación. Gracias a las observaciones mejoradas de los satélites y de la red Argo de flotadores oceánicos perfiladores la comunidad científica puede estimar las diversas fuentes que contribuyen a los cambios mundiales en el nivel del mar: fusión del hielo, dilatación térmica del agua oceánica y cambios en el almacenamiento de agua en la superficie terrestre. Más recientemente, los satélites también han comenzado a medir los cambios en la masa de agua en los océanos, lo que permite controlar de manera independiente las mediciones de los cambios en estas contribuciones. Sin embargo, estas estimaciones tan solo han estado disponibles en los últimos años, y en algunos casos con un retraso considerable. Además, puesto que los cambios en el nivel del mar no son uniformes en todo el mundo, la información global sobre el nivel del mar debería complementarse con análisis regionales allí donde sea necesario.



Cambio en la extensión o en la masa de la criosfera

La criosfera terrestre comprende la precipitación sólida, la capa de nieve, el hielo marino, el hielo de lagos y ríos, los glaciares, los casquetes glaciales, la capa de hielo, el permafrost y el suelo que se congela estacionalmente. La criosfera proporciona algunos de los indicadores más útiles del cambio climático, aunque se trata de uno de los dominios menos muestreados del sistema Tierra. Entre los datos y análisis de la criosfera que se producen con mayor facilidad se encuentran la extensión del hielo marino en los océanos Ártico y Antártico (actualizada diaria y mensualmente por el Centro Nacional de Datos sobre Nieve y Hielos, con sede en los Estados Unidos de América), la capa de nieve en el hemisferio norte (Laboratorio nival de la Universidad de Rutgers) y el análisis de glaciares de montaña (Servicio de vigilancia mundial de los glaciares, con sede en Suiza). Las mediciones de la capa de nieve en el hemisferio sur no son tan fiables.

El Instituto Meteorológico Danés difunde el análisis de los cambios en la capa de hielo de Groenlandia, pero el registro es breve.

Es posible que no pueda elegirse un único indicador para la criosfera. El hielo en el Ártico y en la Antártida debería informarse como números separados en la medida que el hielo de esas regiones polares se comporta de manera muy diferente. Sobre tierra, el comportamiento de la criosfera implica complejas interacciones a nivel regional y local lo que hace que sea muy difícil desarrollar indicadores que representen con coherencia los impactos mundiales del clima en la criosfera.



Precipitación mundial

Hoy en día el mejor enfoque puede ser adoptar un indicador para la criosfera dividido en tres partes: extensión del hielo marino ártico, extensión del hielo marino antártico y capa de nieve en el hemisferio norte. El análisis de estos diversos aspectos ayudaría a atraer la atención de las instancias normativas hacia las partes más sensibles de la criosfera. Se necesitarían indicadores que sean sencillos y fáciles de comprender así como explicaciones científicas acerca de dónde el conocimiento científico aún no es lo bastante sólido.

El Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones de la OMM, operado por el Servicio Meteorológico de Alemania, proporciona la información más completa disponible ya que utiliza los datos recopilados a través de los sistemas y canales de la OMM. En la actualidad los análisis de precipitación se ofrecen con una periodicidad mensual tras superar un control de calidad. La información sobre la distribución geográfica de los extremos de precipitación a escalas estacional, anual y pluri-anual puede ofrecer una buena percepción de los cambios en los patrones y en la naturaleza (sólida o líquida) de la precipitación mundial, de los cambios en la distribución geográfica, de las tendencias en la sequía y en los temporales de lluvias intensas, y de la influencia

de otras características variables del sistema climático, como es el caso de monzones, El Niño-Oscilación del Sur, dipolos, etc. Estas ideas pueden utilizarse para informar decisiones sobre adaptación.

Sin embargo, por sí solo la anomalía de la precipitación mundial no sería un buen indicador climático. Las proyecciones climáticas sugieren una intensificación del ciclo hidrológico mundial pero las incertidumbres y la variabilidad a escala local son grandes de modo que resulta poco probable que se proporcione una señal clara. Un enfoque más acertado sería contar con indicadores basados en un análisis de la distribución global de la precipitación que capture las variaciones anuales, pluri-anuales y a largo plazo.

Desarrollo de indicadores para fenómenos extremos

Una de las consecuencias más importantes del cambio climático es la variación en la frecuencia y/o en la intensidad de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos resultantes de la variabilidad del clima y del cambio climático. El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) subraya ocho riesgos fundamentales para el bienestar del ser humano que requerirán medidas de adaptación. La mayoría de estos riesgos están causados por fenómenos extremos, como mareas de tempestad, inundaciones en zonas costeras y del interior, calor extremo, sequía, inundaciones, y variabilidad y extremos de la precipitación. Conforme se señala más adelante, esto se refleja en las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional (CPDN) entregadas por las Partes a la CMNUCC que identifican las inundaciones, el aumento del nivel del mar y la sequía o la desertificación como las causas más importantes de preocupación.

Como lo que se percibe como fenómeno extremo varía de un lugar a otro, los indicadores podrían basarse en la frecuencia de las desviaciones de un rango típico, por ejemplo el número de veces que un determinado percentil se supera en un lugar concreto.

Se ha propuesto la utilización de indicadores coherentes y significativos para precipitaciones extremas, sequías, olas de calor y otras amenazas, que podrían reflejar la influencia del cambio climático en los fenómenos extremos a nivel mundial. También se ha discutido la frecuencia de ciclones tropicales como posible indicador. Sin embargo, los Centros Meteorológicos Regionales Especializados (CRME) de la OMM tienen diferentes formas de categorizar

estas tempestades según su intensidad. También hay incoherencias en la cobertura de las series temporales históricas, por lo que a menudo resulta complicado obtener información de utilidad que pueda incluirse en un contexto histórico o geográfico. Los Centros Nacionales de Información del Medio Ambiente de la NOAA están probando un índice mundial de energía ciclónica acumulada como indicador de la actividad ciclónica; este índice será explorado en el contexto de la Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2017 y, si resulta satisfactorio, será considerado como indicador mundial para los ciclones tropicales. Sin embargo, la forma en que este indicador puede relacionarse con el cambio climático aún no está clara en este momento.

En 2015 el Congreso Meteorológico Mundial acordó “normalizar la información sobre los peligros y riesgos relacionados con el tiempo, el agua, el clima, la meteorología espacial y otras ciencias ambientales afines, y desarrollar identificadores para catalogar los fenómenos extremos relacionados con el tiempo, el agua y el clima”. Esta decisión promoverá la recopilación de datos, cada vez más normalizada, de fenómenos hidrometeorológicos —la principal causa de pérdidas y daños— por parte de los gobiernos nacionales.

Próximos pasos

Según se desprende claramente de este estudio, hay algunos índices (temperatura mundial, concentraciones de CO₂, calentamiento de los océanos, extensión del hielo marino en las regiones polares y aumento del nivel del mar) que parecen ser elecciones sólidas y obvias para formar parte del conjunto de indicadores principales de la ciencia del clima. En otros casos, resulta más problemático identificar índices que satisfagan los criterios enumerados anteriormente y que a la vez sean claros y fáciles de explicar a las instancias normativas y a la opinión pública.

De cara al futuro, es importante desarrollar más indicadores que apoyen la acción mundial sobre el cambio climático. Los instrumentos fundamentales para permitir la acción climática bajo el Acuerdo de París de la CMNUCC son las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) de las Partes, que actualizarán y perfeccionarán las CPDN existentes. Es vital que estas acciones climáticas nacionales se beneficien de la información científica en materia de variabilidad, tendencias y extremos climáticos. Hasta octubre de 2017 se habían presentado 162 CPDN que abarcaban a 190 Partes que representaban

al 96% de las Partes de la Convención. De ellas, 137 Partes incluían también un componente de adaptación donde las Partes informaban de sus vulnerabilidades. En términos de peligros climáticos, las principales fuentes de preocupación identificadas por la mayoría de las Partes son las inundaciones, el aumento del nivel del mar y la sequía o la desertificación. En tanto que el nivel del mar es un indicador, se destaca la necesidad de que los indicadores de fenómenos de precipitación extrema discutidos en la sección anterior aborden estos problemas.

Entre las áreas y sectores prioritarios identificados en el componente de adaptación de los CPDN cabe incluir los siguientes: agua, agricultura, salud, ecosistemas, infraestructura, silvicultura, energía, reducción de riesgos de desastre, seguridad alimentaria, protección de zonas costeras y pesca. Estos sectores incluyen todas las áreas prioritarias del Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC). Así pues, también se necesitan indicadores adicionales que contribuyan a los impactos en estos sectores.

A medio plazo, la OMM puede ofrecer información sobre la mayor parte de los indicadores discutidos en este artículo a través de sus publicaciones, como la Declaración sobre el estado del clima mundial y el Boletín sobre los gases de efecto invernadero. Sin embargo, estos informes anuales se armonizarán con los Informes de Evaluación del IPCC para garantizar que la información anual que publica la OMM y la más completa, pero menos frecuente, información del IPCC cuentan una historia coherente.

Se necesitará realizar un trabajo adicional para perfeccionar los indicadores examinados en los párrafos anteriores. Se podría alcanzar un consenso mediante la publicación de un artículo revisado por pares que involucre a los autores interesados, muchos de los cuales ya contribuyen a las comisiones técnicas de la OMM, a los programas VAG, SMOC y PMIC y a los grupos de trabajo del IPCC.

Por último, la comunidad de la OMM debe continuar fuertemente comprometida con las organizaciones que pueden ofrecer indicadores de los impactos climáticos fundamentales, incluso a través del SMOC y el MMSC.

Los autores desean expresar su agradecimiento a los siguientes contribuidores de la Secretaría de la OMM: Maxx Dilley, Omar Baddour y Amir Delju, así como a Carolin Richter, del SMOC.